

# 女子大学生の機械的効率とその再現性

## Mechanical efficiency of female students and its reproducibility

山 本 博 男

### ABSTRACT

The purpose of this study was to determine mechanical efficiency of varsity female students (N=8) during steady-state bicycle ergometer work and its reproducibility. Gross efficiency, work efficiency and apparent efficiency were  $14.2 \pm 2.7\%$ ,  $30.8 \pm 10.0\%$  and  $26.4 \pm 2.1\%$ , respectively. These results were similar to those of previous studies for male. The reproducibility of mechanical efficiency was determined by the test-retest method. The test-retest correlation coefficients for gross efficiency, work efficiency and apparent efficiency were  $r=0.93$ ,  $r=0.24$  and  $r=0.24$ , respectively. Furthermore, there was no significant difference between the mean gross efficiency for test 1 and test 2.

### はじめに

最近、自転車<sup>1)</sup>がバイコロジー (Bikecology) 運動とともに注目されている。たとえば、体重 1 kg を 1 km 動かすために必要なエネルギー消費量をみてみると、ヒトは歩行で約  $0.5 \text{ kcal/kg} \cdot \text{km}^{13)}$  のエネルギー消費量を、走行では約  $0.9 \text{ kcal/kg} \cdot \text{km}^{13,16)}$  のエネルギー消費量を必要とするが自転車を利用すると、エネルギー消費量は歩行の約  $3$  分の  $1$ ,  $0.15 \text{ kcal/kg} \cdot \text{km}^{24)}$  ですむ。

更に、ヒトと自転車を 1 つの系 (ヒト・自転車系) としてとらえた機械的効率はこの特性を表わすことができる。一般に機械的効率を求めるために、自転車エルゴメーターがよく利用される<sup>14)</sup>。しかしながら、従来、報告された機械的効率については、主に男子が対象とされ、女子の機械的効率に関する報告はきわめて少ない。

従って、本研究の目的は、自転車エルゴメー

ターを用いて、女子大学生を対象として、自転車駆動の機械的効率を求め、その再現性をみることである。

### 研究小史

自転車駆動の効率に関するさまざまな研究がこれまでになされている。

例えば、Dickinson (1929)<sup>7)</sup> は、作業強度と効率の関係を研究し、ペダルの回転数を変化させて研究した。その結果、効率はスピードの変化とともに変わり、ペダルの回転数が 33 rpm で効率が最大となると報告している。

Garry と Wishart (1934)<sup>9)</sup> は、熟練者と非熟練者の効率を研究し、熟練者の方が非熟練者より、効率が高くなると報告している。さらに、作業強度と効率について研究し、ペダル回転数を変化させ Gross E.<sup>\*\*\*</sup>, Work E.<sup>\*\*</sup> を求め、Net E.<sup>\*</sup> Delta E.<sup>†1)</sup> を算出したところ、ペダル回転数

\* Net E.: Net efficiency =  $\frac{\dot{W}}{\dot{E} - \dot{E}_r}$  ( $\dot{E}_r$  は安静時のエネルギー消費量)

\*\* Work E.: Work efficiency =  $\frac{\dot{W}}{\dot{E} - \dot{E}_{\text{at no-load}}}$  注 1) Delta E. =  $\frac{\Delta \dot{W}}{\Delta \dot{E}}$  ( $\Delta \dot{W}$  は増加した仕事率,  $\Delta \dot{E}$  は増加したエネルギー消費量)

\*\*\* Gross E.: Gross efficiency

の増加にともなう Work E. と Delta E. が増加したと報告している。

Crowden (1950)<sup>5)</sup> は、全仕事量を同一にして、継続的作業と断続的作業の効率の関係を研究し、断続的作業の Net E. の方がわずかに高かったが、この効率の差は有意ではなかったと報告している。

Henry と DeMoor (1950)<sup>11)</sup> は、ペダル回転数を一定にし、負荷をかけて6分間の自転車駆動を行ったところ、負荷の小さい方が効率がよかったと報告している。

発育にともなう効率の変化については、Taylor ら (1950)<sup>23)</sup> が報告している。7—9歳、9—11歳、12—15歳の少年では、Net E., Gross E. の効率に関して、若年者の方がわずかによいと報告している。また、大人と少年を比較すると、Net E. は少年の方がよいと報告している。

Bobbert (1960)<sup>2)</sup> は、自転車駆動のエネルギー消費量と負荷の回帰式を求め、この回帰直線から Gross E. と Absolute E.\* を求めた。前者は、負荷や作業の種類によって変化し、負荷の増加とともに高くなるが、後者は負荷の変化による影響を受けないと報告している。

Michael ら (1961)<sup>17)</sup> は、2—8時間の長時間作業の効率を報告している。

Whipp と Wasserman (1969)<sup>24)</sup> は、効率の理論値について研究し、筋作業の効率は、29%であり、また、効率の算出方法の修正を指摘し、自転車駆動の効率を求めるには、Net E. より、Work E. の方が正確であると報告している。

Whipp ら (1970) は、定常状態が成立しない短時間の作業に関する研究を報告している。

Zacks (1973)<sup>27)</sup> は、水平負荷法を用いてトレッドミル上で実際に自転車駆動を行わせ Apparent E.\*\* を求めている。

Asmussen と B-Petersen (1974)<sup>1)</sup> も Zacks と同様な実験をし、Apparent E. を求めた。さらに、水平負荷法を用いたトレッドミル走とトレ

ッドミル歩行の Apparent E. を求め、自転車駆動の Apparent E. と比較したところ、自転車駆動の効率が一番低かったと報告している。

Gaesser と Brooks (1975)<sup>8)</sup> は、効率の各種算出法を検討するために、ペダル回転数や負荷をいろいろ変化させ、得られたエネルギー消費量の増加が、作業している筋に必要なエネルギー量を表わすのであるならば、Delta E. は、効率の算出方法において最も正確な方法であると報告している。

このように、自転車駆動の正確な効率を求めるために、数多くの研究が行われてきたが、最近、機械的仕事量を計算するには四肢の運動を加えなければならないとして、従来の外的仕事量に、内的仕事量 (Internal work rate) を加えて効率を求める試みがなされ、金子と山崎 (1978)<sup>15)</sup> は、外的仕事量と内的仕事量を測定し、効率を計算した。また大道ら (1979)<sup>20)</sup> は、プラットフォーム上に自転車エルゴメーターを置き、自転車駆動を行わせたところ、仕事量が約20%過少評価されると指摘し、Net E. を23.5%と報告している。

## 方 法

### 1) 被 検 者

被検者は、金沢大学女子バスケットボール部員8名である。被検者の身体的特徴を、表1に

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subject	Height (cm)	Weight (Kg)	Age (year)
N. Kob.	163.1	51.5	20.0
N. Koj.	161.6	55.0	20.2
K. S.	157.0	51.5	18.8
N. Y.	154.3	51.5	19.7
H. M.	173.8	58.5	19.4
Y. A.	159.2	53.5	18.6
R. H.	163.0	53.0	20.8
Y. Y.	160.5	55.0	18.6
Mean	161.6	53.7	19.5
±S. D.	5.4	2.3	0.8

\* Absolute E. で表わしてあるが Apparent E. のことである。

\*\* Apparent E.=Apparent efficiency.

示す。

## 2) 実験期間および場所

実験は、昭和54年9月13日から同年10月18日に、金沢大学教育学部体育学実験室で、ヨナスボディガード自転エルゴメーターを用いて行った。(写真1)

## 3) 自転車駆動における機械的効率の測定

### a 各種効率の算定式

自転車駆動の Gross E.<sup>\*</sup>, Work E.<sup>\*\*</sup> および Apparent E.<sup>\*\*\*</sup> を次の式で算出した。

$$\text{Gross E.} = \frac{\dot{W}_{\text{ext}}}{\dot{E}}$$

$$\text{Work E.} = \frac{\dot{W}_{\text{ext}}}{\dot{E} - \dot{E} \text{ at no-load}}$$

Apparent E. は  $\dot{W}_{\text{ext}}$  を独立変数  $\dot{E}$  を従属変数とする直線回帰式 ( $Y = AX + B$ ) を求め、この式の傾き、Aの逆数に100を乗じて算出した。



Photo. 1 The apparatus of this experiment.

### b $\dot{W}_{\text{ext}}$ (External work rate, 外的仕事率, Kcal/min) の測定

被検者は、安静時心拍数測定後、最初の4分間、無負荷で毎分50回転のペースで、自転車駆動を行い、その後4分毎に150kpm/min ずつ

負荷を3回加えた。この結果を Test 1 とした。被検者は、<sup>\*\*\*\*</sup>HR が安静時心拍数に回復後、Test 1 と同様な自転車駆動を行い、この結果を Test 2 とした。 $\dot{W}_{\text{ext}}$  (kcal/min) は、約426.85kpm が1kcal/min に相当するので、

$$\dot{W}_{\text{ext}} = L \times 6 \times R \div 426.85$$

の式から求めた。ここで、L：負荷 (Kp)，6：車輪の外周 (m)，R：ペダル回転数 (rpm) である。

### c $\dot{E}$ (Energy cost, エネルギー消費量 kcal/min) の測定

エネルギー消費量については、定常状態と思われる。自転車駆動開始後2—4分、7—8分、11—12分および15—16分の呼気ガスをダグラスバッグ法により採気し、ショランダー微量ガス分析器で分析した。これらの結果から得た酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ , l/min) に  $O_2$  1l のエネルギー当量 ( $O_2$  1l  $\div$  5 Kcal) を乗じて  $\dot{E}$  (kcal/min) を求めた。

### 4) HR (Heart rate, 心拍数, beats/min),

安静時心拍数の測定については、Test 1 と Test 2 の実験終了前30秒間のR波を記録し、作業時心拍数の測定については、呼気ガス採気終了前30秒間のR波を記録し、それぞれ1分間値に換算した。

### 5) RPE (Rating of perceived exertion, 主観的運動強度) の測定

被検者に主観的運動強度表を見せて、RPEを開き、記録した。

### 6) Max $\dot{V}O_2$ (Maximal oxygen uptake, 最大酸素摂取量, l/min. ml/kg·min), の測定

被検者は、3分間のウォーミングアップ後、自転車エルゴメーター作業を開始し、疲労困憊 (exhaustion) の状態に至るまで作業を続けた。ダグラスバッグ法によりexhaustionの2—3分前により1分毎に呼気ガスを採気し、ショランダー微量ガス分析器により、呼気ガスを分析し

\* Gross E.=Gross efficiency

\*\* Work E.=Work efficiency

\*\*\* Apparent E.=Apparent efficiency

\*\*\*\* HR：心拍数

た。

### 7) 機械的効率の再現性

Gross E., Work E. および Apparent E. のそれぞれについて, Test 1 と Test 2 の相関係数を求めた。Test 1 と Test 2 の相関関係が有意なとき, その機械的効率の再現性があるとした。

### 結 果

図 1 に, 自転車エルゴメーター駆動の  $\dot{W}_{ext}$  (External work rate, 外的仕事率, kcal/min) と  $\dot{E}$  (Energy cost, エネルギー消費量, kcal/min) の関係を示した。 $\dot{W}_{ext}$  と  $\dot{E}$  の間には,  $Y = 3.82X + 2.11$   $Sy \cdot x \pm 0.32$  ( $r = 0.9787$ ) の関係があり,  $\dot{W}_{ext}$  の増加にともなって  $\dot{E}$  も直線的に増加する有意な直線回帰式を得た。

表 2 に, 各被検者の Apparent E. (Apparent efficiency, %), Equation for the regression lines (直線回帰式),  $r$  (Correlation coefficient, 相関係数) を示した。

すべての被検者について  $\dot{W}_{ext}$  と  $\dot{E}$  の回帰

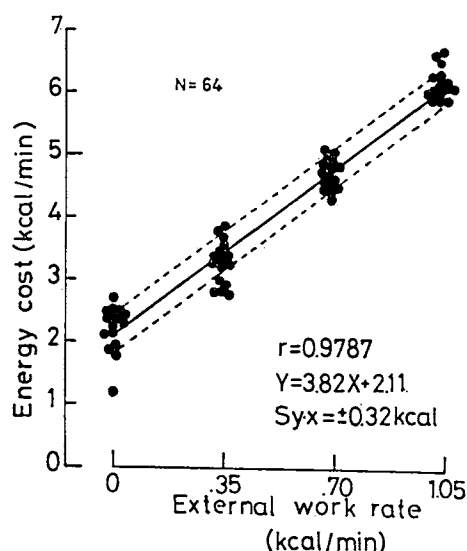


Figure 1 Relation between external work rate and energy cost.

式の傾きおよび相関係数は有意であった。そこで, Apparent B. E. (Bicycling efficiency: 自転車駆動の Apparent E.) を求めたところ,

Table 2 The values of apparent efficiency, equation for the regression lines, and correlation coefficient between external work rate and energy cost of each subject.

Subject	Apparent E. (%)		Equation for the regression lines		r	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
N. Kob.	24.7	28.2	Y =4.04X +1.64	Y =3.45X +2.34	0.9952**	0.9970**
N. Koj.	24.4	27.9	Y =4.10X +2.04	Y =3.59X +2.46	0.9713*	0.9986**
K. S.	25.6	23.5	Y =3.90X +2.30	Y =4.26X +1.99	0.9940**	0.9739*
N. Y.	27.7	28.8	Y =3.61X +2.67	Y =3.47X +2.44	0.9981**	0.9962**
H. K.	24.9	22.2	Y =4.01X +1.91	Y =4.51X +1.46	0.9987**	0.9901**
Y. A.	24.7	26.5	Y =4.04X +1.72	Y =3.77X +1.87	0.9943**	0.9849*
R. H.	27.7	26.1	Y =3.61X +2.12	Y =3.83X +2.24	0.9953**	0.9960**
Y. Y.	28.7	29.9	Y =3.46X +2.66	Y =3.34X +2.60	0.9945**	0.9949**
Mean	26.1	26.6	* Significant at .05 level ** Significant at .001 level			
± S. D.	1.6	2.5				
Mean	26.4					
± S. D.	2.1					

\*\*\*  $P < 0.001$

Table 3 Test-retest data of gross efficiency

Subject	Gross efficiency (%)					
	150 (kpm/min)		300 (kpm/min)		450 (kpm/min)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
N. Kob.	12.5	10.3	15.6	14.4	17.7	17.2
N. Koj.	11.7	9.5	15.2	14.4	15.7	16.7
K. S.	10.1	12.3	14.3	14.0	16.0	15.8
N. Y.	10.8	9.2	15.6	14.9	17.6	17.1
H. M.	10.6	10.6	15.2	14.4	16.9	17.6
Y. A.	12.1	12.3	15.7	16.1	17.2	17.4
R. H.	10.8	10.3	15.6	13.7	17.4	16.9
Y. Y.	9.0	9.9	14.7	13.9	16.7	17.2
Mean	11.0	10.6	15.2	14.5	16.9	17.0
±S. D.	1.1	1.2	0.5	0.7	0.7	0.5
Mean	10.8		14.9		16.9	
±S. D.	1.1		0.7		0.6	

Table 4 Test-retest data of work efficiency

Subject	Work efficiency (%)					
	150 (kpm/min)		300 (kpm/min)		450 (kpm/min)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
N. Kob.	35.0	36.8	25.9	29.2	25.3	28.8
N. Koj.	63.6	29.2	32.6	29.8	24.7	27.6
K. S.	35.7	77.8	28.8	26.9	25.8	24.7
N. Y.	31.8	25.0	31.1	30.4	27.6	28.0
H. M.	25.9	16.7	26.4	19.2	24.7	22.1
Y. A.	35.0	50.0	27.5	31.8	25.0	26.9
R. H.	35.0	31.8	31.1	25.0	27.6	26.9
Y. Y.	25.9	41.1	31.8	29.8	28.0	30.9
Mean	36.0	38.6	29.4	27.8	26.1	27.0
±S. D.	11.9	17.6	2.4	3.8	1.3	2.5
Mean	37.3		28.6		26.5	
±S. D.	14.8		3.3		2.0	

26.4±2.1% (Mean±S. D.)を得た。

表3には、Gross B. E. (自転車駆動の Gross E.) および Work B. E. (自動車駆動の Work E.) を示す。

自転車エルゴメーター駆動における Work rate (仕事率) は、0.35 kcal/min, 0.70 kcal/min, 1.05 kcal/min であり、それぞれの仕事率における Gross B. E. は、10.8±1.1%,

14.9±0.7%, 16.9±0.6%であり、Work B. E. は、37.3±14.8%, 28.6±3.3%, 26.5±2.0%であった。表3、表4より、仕事率と Gross E. Work E. の関係を図2に示す。

表5に、被検者の Max  $\dot{V}O_2$  (Maximal Oxygen Uptake: 最大酸素摂取量, l/min, ml/kg·min), Max  $\dot{V}E$ -STPD (Maximal Ventilation: 最大換気量, l/min), Max-HR (Max-

imal Heart Rate : 最大心拍数 beats/min), Total Work (全仕事量, kpm/min) および R. Q. (Respiratory Quotient: 呼吸商) を示した。仕事率(絶対負荷)とそれぞれの効率の関係を図2に示したが, さらに相対負荷として各被検者の Max  $\dot{V}O_2$  と各仕事率における  $\dot{V}O_2$  より % of max  $\dot{V}O_2$  を求め, % of max  $\dot{V}O_2$

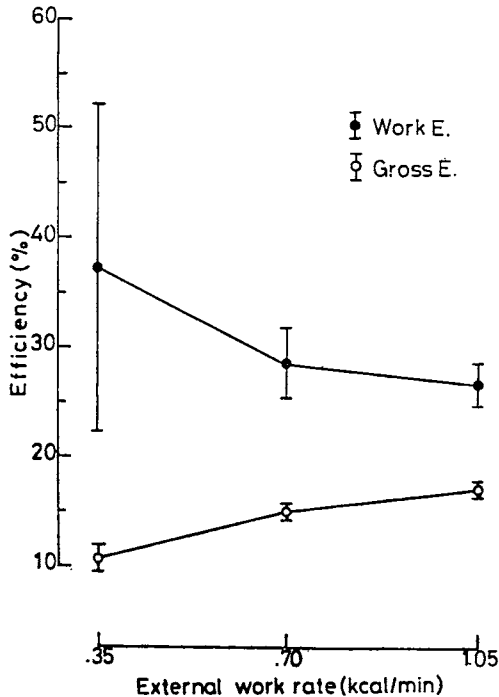


Figure 2 Relation between external work rate and efficiency.

Table 5 Maximal oxygen uptake, maximal ventilation, maximal heart rate, total work, and respiratory quotient. of each subject.

Subject	Max $\dot{V}O_2$ (l/min)	Max $\dot{V}O_2$ (ml/kg·min)	Max $\dot{V}E$ (l/min)	Max HR (beats/min)	Total Work (kpm/min)	RQ
N. Kob.	2.58	50.10	71.87	186.0	7800.0	0.99
N. Koj.	2.73	49.64	83.94	182.0	6975.0	0.91
K. S.	2.47	47.96	96.51	186.0	6562.5	1.16
N. Y.	2.36	45.83	69.31	180.0	5925.0	0.98
H. M.	2.57	43.93	77.50	180.0	9112.5	1.03
Y. A.	2.33	43.55	82.00	182.0	6562.5	1.02
R. H.	2.30	43.40	71.42	180.0	5662.5	0.95
Y. Y.	2.15	39.09	70.28	186.0	5925.0	1.07
Mean	2.44	45.44	77.85	182.8	6815.6	1.01
±S. D.	0.17	3.47	8.73	2.6	1079.0	0.07

とそれぞれの効率の関係を図3に示した。図3より, 作業強度の増加にともなって, Gross B. E. がわずかに増加する傾向が認められ,  $Y = 0.21X + 6.00$  ( $r = 0.8075$ ) の回帰式を得た。また, work B. E. は, 作業強度が増加するとわずかに減少する傾向が認められ,

$Y = -0.46X + 48.90$  ( $r = -0.4848$ ) の回帰式を得た。

図4, 5, 6は, Gross E. (%), Work E. (%) および Apparent E. (%), における Test 1 と Test 2 の関係である。Test 1 と Test 2 の回帰式および相関係数は,

Gross E.  $Y = 0.98X - 0.08$  ( $r = 0.9287$ )

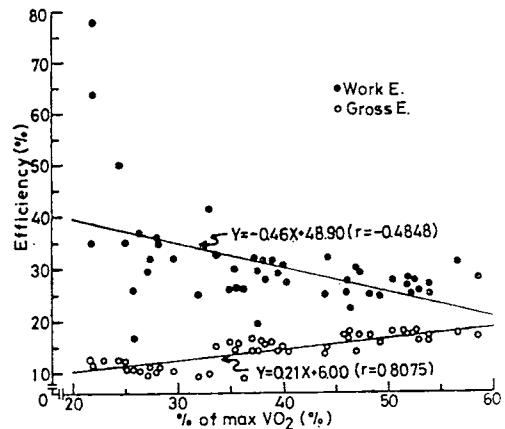


Figure 3 Relation between % of max  $\dot{V}O_2$  and efficiency.

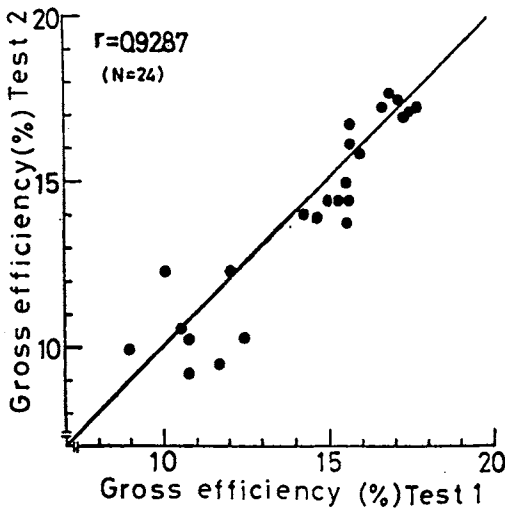


Figure 4 The test-retest relationship of gross efficiency.

Work E.  $Y = 0.36X + 20.21$  ( $r = 0.2369$ )

Apparent E.  $Y = 0.60X + 11.00$  ( $r = 0.3963$ )

であった。有意な相関関係があった Gross E. について Test 1 と Test 2 の差の検定を行ったところ、Test 1 と Test 2 の間に有意差はなく、Gross E. について再現性がみられた。

表 6 は、 $\dot{W}_{ext}$  (kcal/min),  $\dot{V}E$  (l/min),  $\dot{V}O_2$  (l/min), % of  $\max\dot{V}O_2$  (%), HR (beats/min), % of  $\max HR$  (%), および RPE の相関マトリクスである。それぞれについて、0.1 %水準で有意な相関関係であった。

### 考 察

本研究の目的は、自転車エルゴメーターを用い、女子大学生を対象として、自転車駆動の機

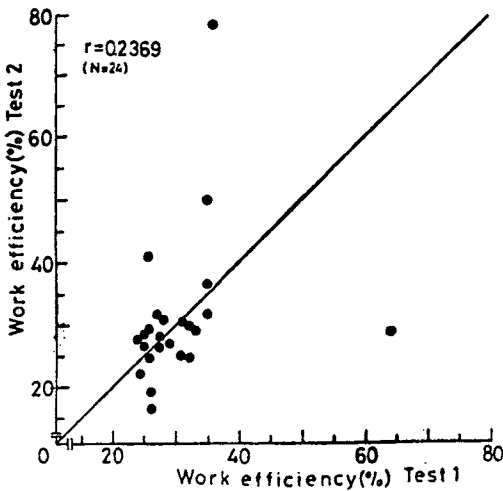


Figure 5 The test-retest relationship of work efficiency.

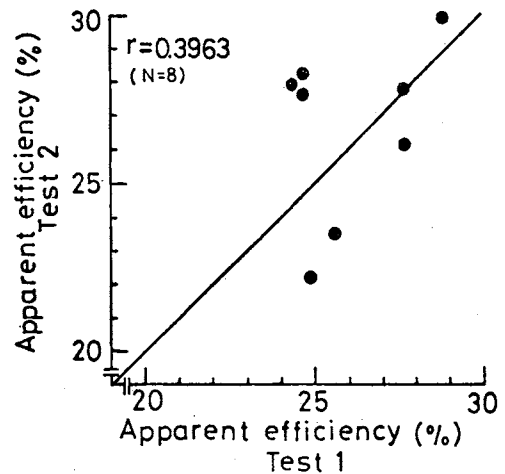


Figure 6 The test-retest relationship of apparent efficiency.

Table 6 Correlation coefficients between selected physiological variables.

	2	3	4	5	6	7
1. $\dot{W}_{ext}$ (kcal/min)	0.9540***	0.9787***	0.9563***	0.8820***	0.8798***	0.8465***
2. $\dot{V}E$ (l/min)		0.9577***	0.9180***	0.8709***	0.8686***	0.7634***
3. $\dot{V}O_2$ (l/min)			0.9786***	0.9114***	0.9049***	0.8680***
4. % of $\max\dot{V}O_2$ (%)				0.9321***	0.9231***	0.9070***
5. HR (beats/min)					0.9963***	0.8660***
6. % of $\max HR$ (%)						0.8530***
7. RPE						

\*\*\* Significant at .001 level

械的効率を求め、その再現性をみることであった。

まず Gross E. について考察すると、Garry と Wishart<sup>9),10)</sup>, Taylor<sup>23)</sup>, Bobbert<sup>2)</sup> および Gaesser と Brooks<sup>8)</sup> によれば、自転車駆動の Gross E. は 7.5—20.4% と報告している。本研究では、9.7—17.5% の Gross E. を得たが、これは先に報告された Gross E. の範囲に入っている。これは、ペダル回転数や負荷などの測定条件が先の報告と似ているためであろう。被検者の年齢、ペダル回転数、負荷などの測定条件が最も似ている Gaesser と Brooks の報告と比較すると、ペダル回転数 40rpm、負荷 400kgm/min の  $17.0 \pm 0.3\%$  (Mean  $\pm$  S. D.) 60rpm、400kgm/min の  $16.6 \pm 0.3\%$  の Gross E. と本研究の 50 rpm、450kpm/min の  $16.9 \pm 0.6\%$  の Gross E. が非常に一致していた。

Work E. について考察すると、Garry と Wishart<sup>9)</sup> は 19.1—30.2%、Whipp と Wasserman<sup>24),25)</sup> は 29.8%、Gaesser と Brooks<sup>8)</sup> は  $24.8 \pm 0.7$  (Mean  $\pm$  S. D.)— $29.5 \pm 0.9\%$  の Work E. を報告している。本研究では、16.7—77.8% の Work E. を得たが、Gross E. と比較して、かなり個人差が大きかった。Whipp と Wasserman<sup>24)</sup> は、ペダル回転数 60 rpm、負荷 340 kpm/min の自動車駆動で、Work E. が 29.8% と報告し、本研究の Work E. は、50 rpm、300 kpm/min で、 $28.6 \pm 3.3$  (Mean  $\pm$  S. D.) であった。本研究では、 $O_2/l$  のエネルギー当量を 5.0kcal として Work E. を求めたため、4.8kcal として求めると、Work E. が 28.9% になり、Whipp と Wasserman の報告した 29.8% に非常によく一致している。

Gaesser と Brooks<sup>8)</sup> の研究は、被検者は男子だが、年齢が 19—24 歳で本研究の被検者の年齢 19—21 歳と似ている。そこで、測定条件がほぼ等しい作業における男女の Work E. を比較すると、本研究で得た Work E. の方がわずかに高かった。本研究の Work E. を  $O_2/l \div 4.8$  kcal<sup>6)</sup> として算出すると、この差はさらに大きくなる。これは、測定条件の違い、民族差および

性差によるものと思われる。

本研究では、150kpm/min の Work E. が他より高く、分散も大きかった。これは、被検者 N•Koj, K•S, Y•A および N•Kob の無負荷時のエネルギー消費量と 150kpm/min におけるエネルギー消費量の差があまりないために、Work E. が高くなったものと思われる。

Apparent E. について考察すると、Bobbert<sup>2)</sup> は、自転車駆動より回帰式を得、これから 22.1% の Apparent E. を報告している。Zacks<sup>27)</sup> は、水平負荷法を用いてトレッドミル上で自転車駆動を行い、回帰式を得、それから 24.6—29.3% の Apparent E. を報告している。Asmussen と B-Petersen<sup>1)</sup> も Zacks と同様な方法から 25.1% の Apparent E. を報告している。本研究でも、 $26.4 \pm 2.14$  (Mean  $\pm$  S. D.) の Apparent E. を得た。これは、Bobbert, Zacks<sup>2)</sup> および Asmussen と B-Petersen<sup>1)</sup> が報告した Apparent E. とよく一致していた。

作業強度の変化にともなう効率の変化について考察してみると、Gaesser と Brooks はペダル回転数と作業率を変化させたところ、40, 60, 80 および 100rpm すべてのペダル回転数において、作業率の増加にともなって増加した。Work E. について、ペダル回転数を一定にして作業率を変化させたところ、60rpm では Work E. はほとんど変化がなく他のペダル回転数では、200 kgm/min—600 kgm/min で効率がわずかに増加し、600 kgm/min—800 kgm/min で効率がわずかに減少した。本研究では、Gross E. は作業強度の増加にともなって効率も増加し、Work E. は作業強度の増加にともなって減少する傾向があった。さらに、作業強度を % of max $\dot{V}O_2$  の相対強度で表わして、作業強度と効率の関係をみたところ、Gross E. は、作業強度の増加にともなって増加し、 $Y = 0.21X + 6.00$  ( $r = 0.8075$ ) の回帰式を得た。また、Work E. は作業強度の増加にともなってわずかに減少し、 $Y = -0.46X + 48.9$  ( $r = -0.4848$ ) の回帰式を得た。Work E. について、Gaesser と Brooks の報告と本研究はよく似ていた。本



研究において、Work E. は、作業強度の増加にともなう、わずかに減少したが、これは低い作業負荷で、高い Work E. の被検者がいたためと思われる。

機械的効率の再現性に関して、Gross E. に再現性がみられたが、Work E., Apparent E. については、再現性がみられなかった。Work E. について再現性がみられなかったのは、被検者 N・Koj, K・S, N・Kob の Work E. が非常に高く、さらに Work E. の個人差が大きかったためと思われる。また、Apparent E. について再現性がみられなかったのは、四種の負荷で仕事率を変化させて、回帰式を求めたため、プロット数が少なく、Apparent E. が22.2—22.9%と分散したためと思われる。

表6に、 $\dot{V}E$ ,  $\dot{V}O_2$  % of  $\max \dot{V}O_2$ , HR, % of  $\max HR$  および RPE の相関マトリクスを示したが、それぞれ0.1%水準で有意な相関関係があった。Bobbert の研究の結果も、本研究の結果とよく一致していた。

さらに、Borg<sup>4)</sup>ら、Borg<sup>3)</sup>, Pandolf<sup>22)</sup>, 小野寺<sup>21)</sup>ら、東<sup>12)</sup>ら、山本<sup>26)</sup>ら、Noble<sup>18), 19)</sup>らによれば、RPE は、 $\dot{V}O_2$ , HR, PR (pulse rate),  $\dot{V}E$ , 走スピード, % of  $\max \dot{V}Q_2$ , % of  $\max HR$  との相関が高いとされているが、本研究でも、表6に示したそれぞれの間で、0.1%水準で有意な相関関係を得、その報告と一致する。

## 結 論

本研究では、女子大学生を対象に、自転車エルゴメーター駆動の機械的効率を測定した。

その結果、150kpm/min, 300kpm/min, 450kpm/min の負荷において、Gross E. はそれぞれ10.8±1.1%, 14.9±0.7%, 16.9±9.6%, Work E. は、それぞれ37.3±14.8%, 28.6±3.3%, 26.5±2.0%であった。さらに、 $\dot{V}E$  とE.の回帰式を求め、26.4±2.1%の Apparent E. を得た。これらの結果は現在までに報告されている男子被検者の効率とよく一致していた。

また、機械的効率の再現性に関しては、Gross E. についてのみ再現性がみられた。従

って、女子の自転車駆動の機械的効率は、男子と同様な手続きで測定することができると思われる。

## 参 考 文 献

- 1 Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen: Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta physiol. scand.* 92: 537—545, 1974.
- 2 Bobbert, A. G.: Physiological comparison of three types of ergometry. *J. Appl. Physiol.* 15 (6): 1007—1014, 1960.
- 3 Borg, G.: Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5 (2): 90—93, 1973.
- 4 Borg, G. and H. Linderholm: Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. *Acta. Med. Scand. Suppl.* 472: 194—206, 1967.
- 5 Crowden, G. P.: The effect of duration of work on the efficiency of muscular work in man. *J. Physiol.* 80: 394—408, 1950.
- 6 DeMoor, J. C.: Individual differences in oxygen debt curves related to mechanical efficiency and sex. *J. Appl. Physiol.* 6: 460—466, 1954.
- 7 Dickinson, S.: The efficiency of bicycle-peddalling, as affected by speed and load. *J. Physiol.* 67: 242—255, 1929.
- 8 Gaesser, G. A. and G. A. Brooks: Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* 38 (6): 1132—1109, 1975.
- 9 Garry, R. C. and G. M. Wishart: The efficiency of bicycle pedalling in the trained subject. *J. Physiol.* 82: 200—206, 1934.
- 10 Garry, R. C. and G. M. Wishart: On the existence of a most efficient speed in bicycle pedalling, and the problems of determining human muscular efficiency. *J. Physiol.* 72: 425—437, 1938.
- 11 Henry, F. M. and J. DeMoor: Metabolic

- efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. *J. Appl. Physiol.* 2: 481-487, 1950.
- 12 東正雄, 森田茂男, 石村宇佐一, 山本博男: 昭和52年度金沢大学教育学部体育科水泳実習の指導について、金沢大学教育学部教科教育研究 第11号: 199-211, 1978.
- 13 Howley, E. T. and M. E. Glover: The caloric costs of running and walking one mile for men and women. *Med. Sci. Sports*, 6 (4): 235-237, 1974.
- 14 金子公宥: 筋作業の機械的効率, 体育の科学 28 (10): 751-758, 1978.
- 15 Kaneko, M. and T. Yamazaki: Internal mechanical work due to velocity changes of the limb in working on a bicycle ergometer. *Biomechanics VI-A* (ed. Asmussen, E. and K. Jørgensen): 86-92, University Park Press, 1978.
- 16 Margaria, R., P. Cerretelli, P. Aghemo and G. Sassi: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18: 367-370, 1963.
- 17 Michael, E. D. JR., K. E. Hutton and S. M. Horvath: Cardio respiratory responses during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 16: 997-1000, 1961.
- 18 Noble, B. J., K. F. Metz, K. B. Pandolf and E. Cafarelli: Perceptual responses to exercise: a multiple regressin study. *Med. Sci. Sports*, 5 (2): 104-109, 1973.
- 19 Noble, B. J., K. F. Metz, K. B. Pandolf, C. W. Bell, E. Cafarelli and W. E. Sine: Perceived exertion during walking and running-II. *Med. Sci. Sports*, 5 (2): 116-120, 1973.
- 20 大道等, 金久博昭, 深代千之, 宮下充正: 各種基本的運動の外的仕事量と酸素摂取量, 日本体育学会第30回記念大会号: 713, 1979.
- 21 小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性 —Rating of Perceived Exertion の観点から—, 体育学研究 21: 191-203, 1976.
- 22 Pandolf, K. B. and B. J. Noble: The effect of pedalling speed and resistance changes on perceived exertion for equivalent power outputs on the bicycle ergometer. *Med. Sci. Sports*, 5 (2): 132-136, 1973.
- 23 Taylor, C. M., M. E. R. Bal, M. W. Lamb and G. Macleod: Mechanical efficiency in cycling of boys seven to fifteen years of age. *J. Appl. Physiol.* 2: 563-570, 1950.
- 24 Whipp, B. J. and K. Wasserman: Efficiency of muscular work. *J. Appl. physiol.* 26 (5): 644-648, 1969.
- 25 Whipp, B. J., C. Seard and K. Wasserman: Oxygen deficit-oxygen debt relationships and efficiency of anaerobic work. *J. Appl. Physiol.* 28: 452-456, 1970.
- 26 山本博男, 村田幸吉, 平井教夫: 夏山登山における女性の運動強度 Part 1 白山, 金沢大学教育学部教科教育研究第11号: 229-234, 1978.
- 27 Zacks, R. M.: The mechanical efficiencies of running and bicycling against a horizontal impeding force. *Int. Z. angew. Physiol.* 31: 249-258, 1973.